




**Rechargeable storage means for binding gaseous hydrogen.****Publication number:** EP0025858**Publication date:** 1981-04-01**Inventor:** FREEOUF JOHN LAWRENCE; WOODALL JERRY  
MACPERSHON**Applicant:** IBM (US)**Classification:****- international:** C01B3/00; F17C11/00; C01B3/00; F17C11/00; (IPC1-7): C01B3/00; C10L5/00; F17C11/00**- european:** C01B3/00D; C01B3/00D2; C01B3/00D2C;  
C01B3/00D2D; F17C11/00D; Y01N6/00**Application number:** EP19800104811 19800814**Priority number(s):** US19790076649 19790918**Also published as:** JP56045801 (A)  
 EP0025858 (B1)  
 IT1148725 (B)**Cited documents:** DE2855413  
 DE2527794  
 US4077788**Report a data error here****Abstract of EP0025858**

1: Rechargeable storage means for binding gaseous hydrogen, characterized by a storage medium consisting of a finely divided amorphous tetrahedrally coordinated material in which atomic hydrogen can be bonded.

---

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

**BEST AVAILABLE COPY**

(19)



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets

(11) Veröffentlichungsnummer:

**0 025 858**  
**A1**

(12)

# EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(21) Anmeldenummer: 80104811.7

(51) Int. Cl.<sup>3</sup>: **C 01 B 3/00**  
**F 17 C 11/00, C 10 L 5/00**

(22) Anmeldetag: 14.08.80

(30) Priorität: 18.09.79 US 76649

(43) Veröffentlichungstag der Anmeldung:  
01.04.81 Patentblatt 81/13

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
BE CH DE FR GB LI NL SE

(71) Anmelder: International Business Machines  
Corporation

Armonk, N.Y. 10504(US)

(72) Erfinder: Freeouf, John Lawrence  
Susan Drive  
Peekskill New York 10566(US)

(72) Erfinder: Woodall Jerry MacPershon  
336 Cherry Street  
Bedford Hills New York 10507(US)

(74) Vertreter: Schröder, Otto H., Dr.-Ing.  
c/o International Business Machines Corporation Zurich  
Patent Operations Säumerstrasse 4  
CH-8803 Rüschlikon/ZH(CH)

(54) Speichermedium für gasförmige Brennstoffe, Brennstoff und Verfahren zum Handhaben.

(57) Wasserstoff kann in atomarer Form gespeichert und in molekularer Form freigegeben werden, wenn man als Wirtsubstanz ein amorphes Material mit tetraedischer Koordination benutzt, wie beispielsweise Silizium, Germanium oder Kohlenstoff.

Molekularer Wasserstoff wird mit feinverteiltem amorphen Silizium zur Reaktion gebracht, in Anwesenheit einer Energiequelle zum Dissoziieren des molekularen atomaren Wasserstoffs; das amorphe Silizium wird auf eine Temperatur erhitzt, die für die Freigabe gasförmigen Wasserstoffs ausreicht.

EP 0 025 858 A1

SPEICHERMEDIUM FUER GASFOERMIGE BRENNSTOFFE, BRENNSTOFF  
UND VERFAHREN ZUM HANDHABEN

Die Erfindung betrifft ein Speichermedium für gebundene gasförmige Brennstoffe, insbesondere Wasserstoff, einen festen Brennstoff und Verfahren zum Handhaben von gasförmigem Wasserstoff für den Gebrauch als Brennstoff.

5

Das technische Gebiet der Erfindung betrifft sogenannte feste Brennstoffe. Das Element Wasserstoff ist in der gasförmigen Form ein brauchbarer und umweltfreundlicher Brennstoff, der auf vielfältige Weise leicht hergestellt werden kann. Ein wesentlicher Nachteil seiner Anwendung ist jedoch die Schwierigkeit, die Sicherheit der Speicherung und leichte Transportfähigkeit von Wasserstoff mit dem bequemen Zugang für den Gebrauch und die problemlose Handhabung zu vereinen.

15

Das Element Wasserstoff wurde als Ausgangsmaterial für einen umweltfreundlichen Brennstoff erkannt. Versuche wurden unternommen, um Verfahren zur Einkapselung von Wasserstoff in Festkörper zu finden, um den Gebrauch handlicher zu machen. Der wesentliche Ausgangspunkt für solche Anstrengungen ist die Bildung von Metallhydriden. Solche Materialien bringen jedoch andere Probleme, wie Kosten, oder die Notwendigkeit, unter hohen Drücken und bei verhältnismässig hohen Temperaturen zu arbeiten. Das Ergebnis ist meist eine gewichtsmässig geringe Konzentration des gelösten oder angelagerten Wasserstoffs. Weiterhin ist eine zusätzliche Erwärmung notwendig, um in diesen Materialien den gespeicherten Wasserstoff freizusetzen. Ausserdem ist der Wasserstoff in dem Metall nur gelöst.

20

25

Das Speichermedium nach der Erfindung, der damit her-

gestellte feste Brennstoff und das Verfahren zum gefahrlosen Handhaben ist in den Patentansprüchen definiert.

Figur 1 illustriert eine Vorrichtung für die Erzeugung von amorphem hydrierten Material.

Figur 2 ist eine schematische Darstellung einer Vorrichtung zum Freisetzen von Wasserstoff aus dem amorphen hydrierten Material.

10

Figur 3 ist eine Darstellung einer Vorrichtung für die Wiederaufhydrierung des amorphen Materials.

Die Erfindung ermöglicht die Speicherung von atomarem Wasserstoff in einer amorphen Substanz mit tetraedischer Koordination bis etwa 50 Atomprozent. Der Wasserstoff wird an die Substanz kovalent gebunden. Die amorphe Wirtssubstanz ist im Nahbereich tetraedisch koordiniert, und das Wirtsmaterial behält seine tetraedische Koordination sowohl bei der Freigabe des Wasserstoffs als auch bei der Wiederaufladung mit Wasserstoff.

20

Tetraedisch koordiniertes amorphes Material bedeutet, dass für den grössten Anteil des Materials die vier nächsten Nachbaratome näherungsweise die Scheitelpunkte eines Tetraeders bilden. Das Material kann daher auch als eine ungeordnete Zinkblendestruktur oder Diamantstruktur betrachtet werden.

25

Die Freigabe des Wasserstoffs wird durch Anheben der Temperatur des Wirtsmaterials bewirkt. Die atomare Koordination des Wirtsmaterials wird während der Freisetzung des Wasserstoffs

30

./.

nicht gestört. Bei der Einführung des Wasserstoffs in das amorphe tetraedisch koordinierte Material ist eine Energiezufuhr notwendig, weil der Wasserstoff in dem Wirtsmaterial atomar gespeichert wird, während gasförmiger Wasserstoff in diesem Zustand nur molekular vorkommt. Diese Uebergangsenergie wird jedoch wiedergewonnen, wenn der Wasserstoff aus dem amorphen Material freigesetzt wird und wieder molekular wird.

Die Figur 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Vorrichtung für die Bildung von hydriertem amorphen Material.

Es gibt viele Materialien mit tetraedischer Koordination wie beispielsweise Silizium, Germanium oder Kohlenstoff. Vorzugsweise wird Silizium verwendet, weil es am leichtesten verfügbar ist. Die beschriebenen Ausführungsbeispiele beziehen sich daher auf Silizium.

In der Vorrichtung nach der Figur 1 ist ein Reaktionsgefäß 1 vorgesehen, in welchem hydriertes amorphes Silizium 2 in der Form von Pulver oder Flocken hergestellt wird. Ein Gemisch aus Silan ( $\text{SiH}_4$ ), Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ) und Argon ( $\text{Ar}_2$ ) wird durch einen Anschluss 3 in das Reaktionsgefäß 1 eingeleitet. Gleichzeitig wird einer Spule 4 Hochfrequenzenergie zugeführt. Das Silan zersetzt sich in amorphes hydriertes Silizium. Bei der Zersetzung bewirkt die Energie des Hochfrequenzfeldes von der Spule 4 die Umwandlung des zusätzlichen Wasserstoffs aus seinem molekularen Zustand in den atomaren Zustand. Der atomare Wasserstoff dringt in das zersetzte Silan ein und bildet feinverteiltes amorphes hydriertes Silizium 2 mit einer pulverisierten oder flockenartigen Struktur, während das Argon das Reaktionsgefäß über den Anschluss 5 verlässt.

In der Praxis wird das Reaktionsgefäß 1 zunächst auf etwa 550°C aufgeheizt. Das Gemisch aus Silan, Wasserstoff und Argon wird in den Anschluss 3 mit einem Druck eingeführt, der geeignet ist, eine hochfrequente Glimmentladung innerhalb der  
5 Spule 4 aufrechtzuerhalten, wodurch atomarer Wasserstoff erzeugt wird. Die Glimmentladung wird während der ganzen Zeit aufrecht-  
erhalten, bis die Menge der Substanz 2 mit Wasserstoff gesättigt ist. Das ist etwa im Bereich von 50 Atomprozent Wasserstoff der Fall.

10

Wenn der feste Brennstoff aus hydriertem amorphen Silizium erst einmal mit Wasserstoff aufgeladen ist, verbleibt der Wasserstoff darin während normaler Behandlung oder Handhabung und der dabei auftretenden Temperaturveränderungen.

15

In der Figur 2 ist schematisch eine Vorrichtung dargestellt, um den gebundenen gasförmigen Brennstoff aus seinem Speichermedium aus einer feinverteilten amorphen Festkörpersubstanz für den Gebrauch freizusetzen.

20

Ein Reaktionsgefäß 10 ist mit einem Speichermedium 11, einer hydrierten amorphen Festkörpersubstanz in feinverteilter Form versehen. Im Reaktor befindet sich eine Heizspule 12, welche von einer Stromversorgung 13 beschickt wird, wobei die Reaktions-  
25 bedingungen mit Hilfe eines Druckfühlers 14 überwacht werden. Ein Ventil 15 dient zum Abziehen des im Reaktionsgefäß 10 erzeugten Gases in einen getrennten Behälter 16.

Im Reaktor wird durch die Heizspule 12 die Temperatur  
30 auf einen Wert im Bereich von 250°C bis 550°C angehoben. Bei dem

./.

5 letztgenannten Temperaturwert wird Wasserstoff in gasförmigem Zustand aus dem amorphen Silizium freigesetzt. Während der Bildung des Gases wird auch latente Bildungswärme frei. Diese freigesetzte Wärme trägt zur Aufrechterhaltung der Reaktion der Freisetzung von Wasserstoff bei. Dies steht völlig im Gegensatz zu den oben genannten bekannten Einrichtungen mit Metallhydriden für die Speicherung, wo Wärmezufuhr erforderlich ist, um den Wasserstoff freizusetzen und weiterhin diese Reaktion aufrechtzuerhalten.

10

Mit Hilfe des Druckfühlers 14 kann die beste Temperatur bestimmt werden, bei welcher gasförmiges Material entwickelt wird, damit das Speichermedium nicht allen gasförmigen Brennstoff zur gleichen Zeit abgibt. Durch ein Ventil 15 wird das Gas in einen Speicherbehälter 16 für den Gebrauch überführt.

15

Die Figur 3 zeigt schematisch eine Vorrichtung ähnlich der in der Figur 2 dargestellten, aber für den Zweck, das amorphe Speichermedium für erneuten Gebrauch wieder aufzuladen.

20

Gleiche Teile oder Teile mit gleicher Funktion sind in den Figuren mit gleichen Bezugszeichen versehen. In der Figur 3 befindet sich der Wasserstoff für das Wiederaufladen in dem Behälter 16 und wird durch ein Ventil 15 in das Innere des Reaktionsgefäßes 10 eingeführt, welches die feinverteilte amorphe Substanz des Speichermediums 11, hier Silizium, enthält. Die Temperatur wird von 300°C auf etwa 400°C mit Hilfe der Heizspule 12 erhöht. Weitere Energie wird von der Stromversorgung 13 unter der Kontrolle des Druckfühlers 14 durch das hochfrequente Feld der Spule 4 zugeführt, wodurch der molekulare Wasserstoff in atomaren Wasserstoff aufgebrochen wird, so dass er mit dem Speichermedium eine kovalente Bindung eingehen kann. Auf diese

25

30

./.

Weise kann für den festen Brennstoff Wasserstoff in der Grössenordnung von 13 Atomprozent wieder eingeführt werden.

5 Daraus ist ersichtlich, dass der Wasserstoff in atomarer Form gespeichert wird, aber zum Gebrauch in molekularer Form entnommen werden kann, und dass der Prozess umkehrbar ist.

10 Etwa 60 Liter amorphes Silizium-Material mit 50 Atomprozent Wasserstoff enthalten 130 kg Silizium und 4,6 kg Wasserstoff. Wenn weiter angenommen wird, dass der Behälter, die Heizeinrichtungen usw. noch einige kg wiegen, dann beträgt der Anteil des Wasserstoff an dem gesamten System etwa 3,4 Gewichtsprozent. Das ist sehr günstig, wenn man es mit bekannten Einrichtungen vergleicht. Gewöhnliche Druckflaschen enthalten nur etwa 1%  
15 gasförmigen Brennstoff.

Für den mehrmaligen Gebrauch der Einrichtung unter Ausnutzung der umkehrbaren Reaktion muss man sehr darauf achten, dass man nicht die Temperatur überschreitet, bei der der Wasserstoff irreversibel freigesetzt wird. Das tritt auf, wenn das hydrierte amorphe Silizium auf seine Kristallisationstemperatur oder höher erhitzt wird, die im Bereich von 600°C bis 800°C liegt.  
20 Wenn dies einmal auftritt, dann muss das Silizium erneut in eine Form gebracht werden, wie beispielsweise das gasförmige Silan, woraus es dann wieder mit Hilfe einer Glimmentladung in den Zustand des hydrierten amorphen Siliziums gebracht werden kann.  
25

Solange die Temperatur im Betrieb niemals 550°C überschreitet, bleibt der Prozess umkehrbar.

30

Der ausnutzbare Temperaturbereich für die umkehrbare Speicherung und Freigabe von gasförmigen Brennstoffen wie Wasser-



stoff kann verschieden sein, je nachdem, welche Wirtssubstanz verwendet wird. Sie kann Beimengungen solcher Elemente wie Germanium und/oder von Elementen seltener Erden wie Lanthan aufweisen. Für einige Anwendungen ist es erwünscht, die Freigabetemperatur möglichst niedrig zu haben, beispielsweise in Fällen, wo  
5 Abwärme aus anderen Prozessen zur Verfügung steht.

PATENTANSPRUECHE

1. Speichermedium für gebundene gasförmige Brennstoffe, insbesondere Wasserstoff, dadurch gekennzeichnet, dass es eine  
5 feinverteilte amorphe Festkörpersubstanz mit tetraedischer Koordination im Nahbereich enthält.
2. Speichermedium nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Substanz Silizium ist.  
10
3. Speichermedium nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Substanz Germanium ist.
4. Speichermedium nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass  
15 die Substanz Kohlenstoff ist.
5. Fester Brennstoff, dadurch gekennzeichnet, dass ein aus einer feinverteilten amorphen Festkörpersubstanz mit tetraedischer Koordination bestehendes Speichermedium Wasserstoff in kova-  
20 lenter Bindung enthält.
6. Fester Brennstoff nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Substanz des Speichermediums Silizium ist.
- 25 7. Verfahren zum Handhaben von gasförmigem Wasserstoff für den Gebrauch als Brennstoff, gekennzeichnet durch mindestens einen der folgenden Schritte:  
- Molekularer Wasserstoff wird mit feinverteiltem amorphen  
30 Silizium zur Reaktion gebracht in Anwesenheit einer Energiequelle zum Dissoziieren des molekularen Wasserstoffs in atomaren Wasserstoff,

- Wasserstoff in kovalenter Bindung enthaltendes feinverteilt-  
tes amorphes Silizium wird auf eine Temperatur erhitzt, die  
für die Freigabe von gasförmigem Wasserstoff ausreicht.
- 5    8. Verfahren zum Handhaben von gasförmigem Wasserstoff für den  
Gebrauch als Brennstoff, gekennzeichnet durch mindestens ei-  
nen der folgenden Schritte:
- 10    - Silan ( $\text{SiH}_4$ ) wird mit Wasserstoff zur Reaktion gebracht in  
Anwesenheit einer Energiequelle zum Dissoziieren von Silan  
und Wasserstoff in feinverteilt hydriertes Silizium,
  - 15    - Wasserstoff in kovalenter Bindung enthaltendes feinverteilt-  
tes Silizium wird auf eine Temperatur erhitzt, die für die  
Freigabe von Wasserstoff ausreicht,
  - 20    - Molekularer Wasserstoff wird mit feinverteilt amorphem  
Silizium zur Reaktion gebracht in Anwesenheit einer Energie-  
quelle zum Dissoziieren des molekularen Wasserstoffs in ato-  
maren Wasserstoff.
- 25    9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet,  
dass die Energiequelle ein mittels einer Spule aufgebrachtes  
Hochfrequenzfeld ist.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die  
Temperatur  $550^\circ\text{C}$  nicht überschreitet.

FIG. 1

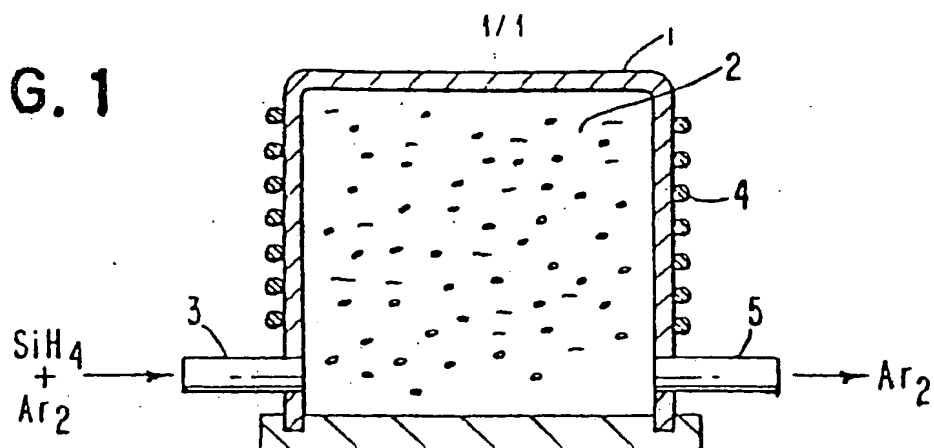


FIG. 2

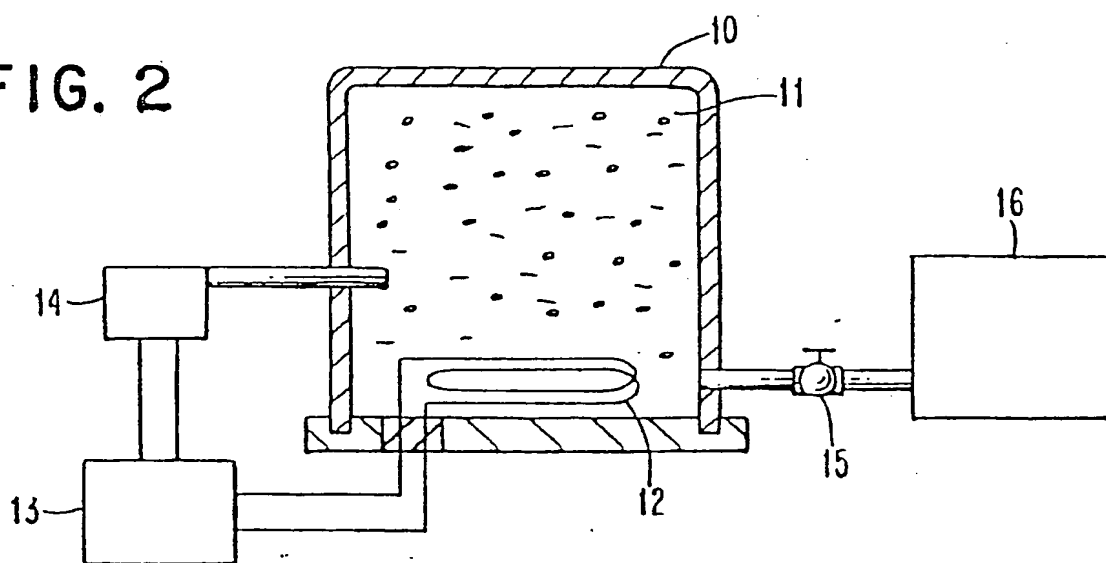
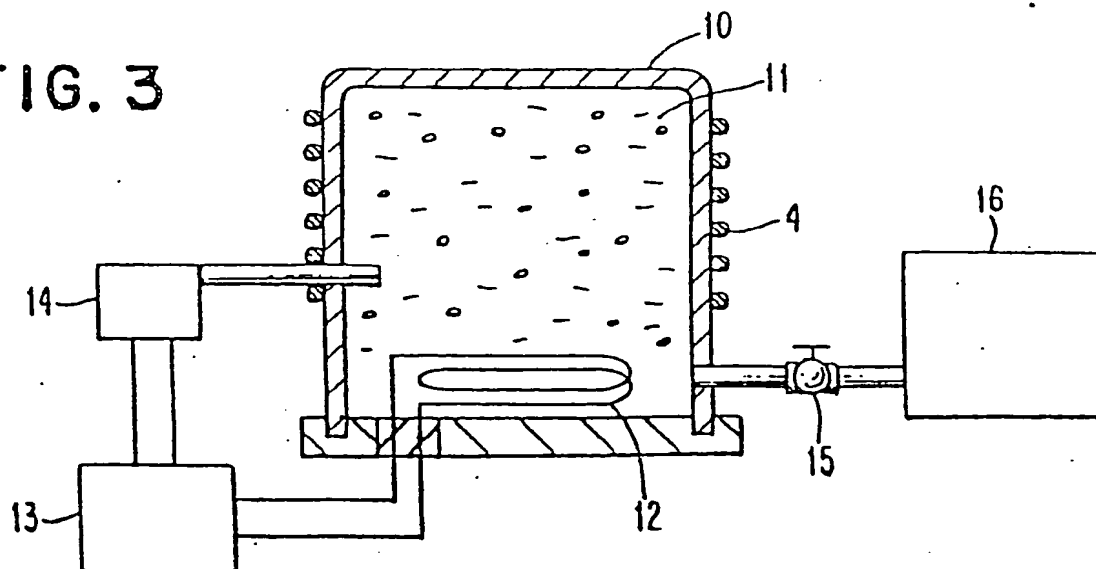


FIG. 3





Europäisches  
Patentamt

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

0025858

Nummer der Anmeldung  
EP 80 10 4811

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (Int. Cl.)
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	betrifft Anspruch	
X, P, E	<u>DE - A - 2 855 413</u> (SIEMENS A.G.) * Ansprüche 1-3 *	1, 2, 5, 6	C 01 B 3/00 F 17 C 11/00 C 10 L 5/00
	---		
	APPLIED PHYSICS LETTERS, Band 32, Nr. 7, 1, April 1978, Seiten 439-441 New York, U.S.A. J.I. PANKOVE et al.: "Hydrogenation and dehydrogenation of amorphous and crystalline silicon"	1, 2, 8	
	---		
A	<u>DE - A - 2 527 794</u> (BERTRAM) <u>US - A - 4 077 788</u> (WOOLLAM) * Ansprüche 1-4; Figur *	1, 4	C 01 B 3/00 3/56 F 17 C 11/00 C 10 L 3/04
	----		
			KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE
			X: von besonderer Bedeutung
			A: technologischer Hintergrund
			O: nichtschriftliche Offenbarung
			P: Zwischenliteratur
			T: der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
			E: kollidierende Anmeldung
			D: in der Anmeldung angeführtes Dokument
			L: aus andern Gründen angeführtes Dokument
			A: Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt.			
Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer	
Den Haag	12-11-1980	MICHIELS	

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record.**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**